



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 25 203 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
B 29 C 65/16
B 23 K 26/00
// B29L 11:00, G11B
7/26

21 Aktenzeichen: 199 25 203.3
22 Anmeldetag: 1. 6. 1999
43 Offenlegungstag: 7. 12. 2000

DE 199 25 203 A 1

71 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

72 Erfinder:
Hänsch, Dirk, Dr., 52070 Aachen, DE; Gillner,
Arnold, Dr., 52159 Roetgen, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 44 32 081 A1
DE-OS 14 79 686

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Verschweißen von Kunststoffen, verwendeter Kunststoff und Schweißzusatzwerkstoff

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verschweißen mindestens zweier Kunststoffe, bei dem die für das Schweißen erforderliche Prozessenergie Laserlichtenergie ist, und das dadurch gekennzeichnet ist, dass dem Fügebereich Hilfsenergie zugeführt wird, dass durch die Hilfsenergie im Fügebereich vorhandene Partikel mindestens eines Stoffes A_i reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umgewandelt werden, wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit die Laserstrahlung stärker absorbieren als der Stoff A. Weiterhin betrifft die Erfindung einen Kunststoff und einen Schweißzusatzwerkstoff, die jeweils mindestens einen Stoff A_i enthalten, der durch Zuführung von Energie reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umwandelbar ist, wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit die Strahlung im Wellenlängenbereich von 800-2000 nm stärker absorbieren als der Stoff A_i. Die Erfindung kann immer dann mit Vorteil angewandt werden, wenn Kunststoffe verschweißt werden müssen, die für sichtbares Licht weitgehend transparent sind, und die infrarotes Licht nicht oder nur schwach absorbieren. Bei diesen Kunststoffen wird allgemein angestrebt, die durch den Schweißvorgang hervorgerufene Farbveränderung zu vermeiden. Derartige Anforderungen bestehen in der Verpackungs-, Mode-, Automobil- und Elektroindustrie sowie in der Modebranche.

DE 199 25 203 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verschweißen von Kunststoffen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, einen Kunststoff nach Anspruch 9 und einen Schweißzusatzwerkstoff nach Anspruch 14. Die Erfindung kann immer dann mit Vorteil angewandt werden, wenn Kunststoffe verschweißt werden müssen, die für sichtbares Licht weitgehend transparent sind, und die infrarote Licht nicht oder nur schwach absorbieren. Bei diesen Kunststoffen wird allgemein angestrebt, die durch den Schweißvorgang hervorgerufene Farbveränderung zu vermeiden. Derartige Anforderungen bestehen in der Verpackungs-, Mode-, Automobil- und Elektroindustrie sowie in der Modebranche. Beispielsweise können modische Brillen, Brillenlinsen, oder auch Kontaktlinsen mit Filtereigenschaften für die Infrarotstrahlung verschweißt werden. Im Bereich der Elektroindustrie kann die Erfindung bei reversiblen optischen Aufnahmemedien wie zum Beispiel Rewritable CD's angewandt werden. Auch Visiere und optische Geräte zählen zu den Einsatzgebieten. Auch bei Fenstern für zum Beispiel Automobile und Häuser kann die Erfindung eingesetzt werden.

Stand der Technik

Das Verschweißen von Kunststoffen durch Hochenergiestrahlung, und insbesondere durch Laserstrahlung, ist bekannt. Zumindest einer der beiden Fügepartner muss für die Hochenergiestrahlung durchlässig sein, damit die für den Schweißvorgang erforderliche Prozessenergie in den Fügebereich eingekoppelt werden kann. Allen Kunststoffschweißverfahren ist gemeinsam, dass die für das Fügen notwendige Prozessenergie nur in einen kleinen Raumbereich innerhalb der Fügezone eingebracht wird. Die Prozessenergie führt zu einer Aufschmelzung beider Schweißpartner an ihrer Oberfläche. Wenn die beiden Schweißpartner aus mischbaren Materialien bestehen, so zum Beispiel PMMA und ABS, kommt es durch die thermische Ausdehnung der Schmelze zu einer stoffschlüssigen Verbindung mit hoher, kaum sichtbarer Schweißnahtqualität. Aus diesem Grund ist das Verschweißen von Kunststoffen mit Laserstrahlung besonders dann vorteilhaft, wenn an das Schweißergebnis hohe optische Anforderungen gestellt werden. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die Kunststoffe für Strahlung aus dem sichtbaren Teil des Wellenlängenspektrums nicht opak bzw. transparent sind. Beispiele hierfür sind zum einen farbige, für sichtbares Licht transparente Kunststoffe wie zum Beispiel Rückleuchten von Kraftfahrzeugen. Ein weiteres Beispiel sind farblose transparente Kunststoffe wie zum Beispiel Brillengläser aus Kunststoff oder auch Plexiglas.

Die Absorption der Schweißstrahlung im Fügebereich kann auf zwei Arten erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, dass der zweite Schweißpartner von sich aus die Laserstrahlung stark absorbiert, so dass es im Fügebereich durch Wärmeleitung zum Aufschmelzen beider Fügepartner kommt. Dieses Vorgehen wird häufig beim Überlappschweißen gewählt.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass farbige Pigmente oder Ruß in einen Fügepartner eingemischt werden, welche selektiv die Laserstrahlung absorbieren. Dieses Vorgehen führt jedoch nachteiligerweise dazu, dass dieser Fügepartner farblich verändert wird. Im sichtbaren Licht farblos erscheinende Kunststoffe wie zum Beispiel Acrylglas (auch Plexiglas genannt) erhalten eine Farbe, was je nach Anwendungsfall unerwünscht ist. Transparente und farbige

Kunststoffe, und dabei insbesondere schwach farbige Kunststoffe, verändern durch diese Pigmente ihre Farbe oder erhalten eine optisch wenig ansprechende Mischfarbe. Die gleichen Probleme treten auf, wenn die Pigmente zwischen die beiden Fügepartner eingebracht werden, zum Beispiel als Draht, Folie oder als absorbierende Schicht.

In dem Fachartikel (Opto & Laser Europe, Heft 62, S. 16, Mai 1999) wird berichtet, die oben genannten Probleme durch Einbetten von im infraroten (IR-) Spektralbereich wirksamen Farbpartikeln in den Kunststoff zu lösen. Die IR-Farbpartikel führen jedoch auch hier zu unerwünschten farblichen Veränderungen des Kunststoffs.

Die nach dem Stand der Technik bekannten Möglichkeiten, die Absorption der Schweißstrahlung im Fügebereich sicher zu stellen, weisen die Gemeinsamkeit auf, dass die Absorption durch Chromophore erfolgt, also durch Atomgruppierungen, die einer Verbindung durch selektive Lichtabsorption Farbigkeit verleihen. Solche chromophoren Gruppen sind entweder bereits im Kunststoff vorhanden (z. B. C=C), oder werden einem der Fügepartner nachträglich zugeführt (zum Beispiel die Kohlenstoffatome im Ruß mit stark delokalisierten π -Elektronen). Die ausschließliche Nutzung dieser Chromophore macht es nach dem Stand der Technik unmöglich, nichtopake bzw. opake Kunststoffe ohne Farbveränderungen zu verschweißen.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren zum Verschweißen von Kunststoffen zur Verfügung zu stellen, welches die Probleme nach dem Stand der Technik vermeidet, und welches auch dann anwendbar ist, wenn die Schweißstrahlung nicht von den Schweißpartnern absorbiert wird.

Das Verfahren soll insbesondere auch dann anwendbar sein, wenn beide Schweißpartner farblos transparent oder schwach farbige und transparent sind. Insbesondere sollen die Fügepartner aus dem Schweißprozess ohne Farbveränderungen hervorgehen.

Eine weitere Aufgabe besteht darin ein Kunststoffschweißverfahren zur Verfügung zu stellen, bei dem auf den Einsatz farbiger Pigmente verzichtet werden kann.

Weiterhin ist es Aufgabe einen Schweißzusatzwerkstoff zur Verfügung zu stellen, der keine Farbveränderungen im Fügebereich mit sich bringt und der die Schweißstrahlung besonders stark absorbiert. Diese Absorption der Schweißstrahlung soll dabei besonders im Wellenlängenbereich des nahen Infrarots (NIR) liegen, d. h. im Wellenlängenbereich von ca. 800–2000 nm.

Bereitgestellt werden soll ferner ein Kunststoff, der Schweißstrahlung im NIR-Wellenlängenbereich besonders stark absorbiert.

Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die in den Ansprüchen 1, 9 und 14 gegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen für die Durchführung des Verfahrens, den Kunststoff und den Schweißzusatzwerkstoff sind in den Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß wurde erkannt dass sich die Probleme dadurch lösen lassen, dass dem Fügebereich Hilfsenergie zugeführt wird, dass durch die Hilfsenergie im Fügebereich vorhandene Partikel mindestens eines Stoffes A_j reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umgewandelt werden, wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit die Laserstrahlung stärker absorbieren als der Stoff A_j.

Grundsätzlich ist es möglich, dass mehrere Stoffe A_j im Fügebereich vorhanden sind, wobei jeder Stoff A_j in mindestens einen Stoff B_i umwandelbar ist. Hierbei indizieren i und j den jeweiligen Stoff mit i = 1 ... n und j = 1 ... m, wo-

bei m für die Zahl der vorhandenen Stoffe A_j steht. Der Index n steht für die Zahl der aus einem Stoff A_j hervorgehenden Stoffe B_i . Ist zum Beispiel genau ein Stoff A_1 vorhanden der sich in drei Stoffe B_1, B_2, B_3 umwandelt, so müssen diese drei Stoffe B_1, B_2, B_3 die Schweißstrahlung insgesamt stärker absorbieren als der Stoff A. Natürlich reicht es im Sinne der vorliegenden Erfindung bereits aus, wenn nur einer dieser Stoffe, zum Beispiel B_2 , die Schweißstrahlung stärker absorbiert als der Stoff A_1 . Der Einfachheit halber soll ohne Einschränkung des Erfindungsgedankens nur von einem Stoff A bzw. B gesprochen werden.

Auf diese Weise können zwei opake Kunststoffe miteinander verschweißt werden, bei denen die Schweißstrahlung nicht oder nur vernachlässigbar gering absorbiert wird. Der Stoff A muss dabei in mindestens einen anderen Stoff B mit für die Hochenergiestrahlung größerem Absorptionskoeffizienten umwandelbar sein um seine absorptionserhöhende Funktion zu erfüllen. Die Einkopplung der Prozessenergie erfolgt dann durch die erhöhte Absorption der Schweißstrahlung durch den Stoff B. Die Farbe der Partikel des Stoffs A ist für diesen Fall unerheblich.

Auch das Verschweißen zweier oder mehrer Kunststoffe ist möglich, von denen mindestens einer nicht opak ist. Die Einkopplung der Prozessenergie erfolgt dann durch erhöhte Absorption der Schweißstrahlung durch den Stoff B. Ist der nicht opake Kunststoff für sichtbares Licht nur schwach transparent, so kann ein farbiger Stoff A genutzt werden. Ist der nicht opake Kunststoff in hohem Maße transparent, so wird ein nur schwach farbiger oder noch besser ein farbloser Stoff A gewählt um farbliche Veränderungen der Schweißpartner zu vermeiden. Das Einbringen von bei sichtbarem Licht weitgehend oder vollständig farblosen Stoffpartikeln stellt sicher, dass vor dem Schweißen der oder die Kunststoffe farblich unverändert bleiben. Die Reversibilität dieses Umwandlungsprozesses stellt sicher, dass dies auch für die Zeit nach dem Schweißen gilt.

Das Einbringen dieses Stoffes A kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, dass das Material eines der beiden Schweißpartner diesen Stoff enthält. Dieser Kunststoff muss dabei den reversibel umwandelbaren Stoff zumindest in der dem Schweißpartner zugewandten Oberflächenschicht und damit in der Fügezone enthalten. Dies kann dadurch geschehen, dass der Stoff bei der Herstellung des Kunststoffs als Füllstoff zugemischt wird. Natürlich ist es auch möglich, dass dabei mehrere dieser Stoffe zugemischt werden. Durch den Mischvorgang wird automatisch eine gleichmäßige Verteilung des Stoffes im Kunststoff sichergestellt. Eine einwandfreie Schweißung mit reproduzierbarer Qualität wird dann durch geeignet gewählte Parameter der Schweißstrahlung sichergestellt.

Im Hinblick auf die verwendeten Wellenlängen der Schweißstrahlung von $\lambda = 800\text{--}2000\text{ nm}$ ist es besonders zweckmäßig, wenn ein Kunststoff mit mindestens einem Stoff A zur Verfügung gestellt wird, bei dem der Stoff A durch Zuführung von Energie reversibel in mindestens einen Stoff B umwandelbar ist, und bei dem der Stoff B Strahlung im Wellenlängenbereich von $\lambda = 800\text{--}2000\text{ nm}$ stärker absorbiert als der Stoff A. Damit der Kunststoff verschweißbar ist sollte er ein Thermoplast oder ein Thermoelast sein.

Im Sinne der vorhergehenden Ausführungen können die Aufgaben durch die Bereitstellung eines Kunststoffs gelöst werden, der mindestens einen Stoff A_j enthält der durch Zuführung von Energie reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umwandelbar ist, wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit die Strahlung im Wellenlängenbereich von $\lambda = 800\text{--}2000\text{ nm}$ stärker absorbieren als der Stoff A_j .

Eine weitere Möglichkeit zur Zugabe des Stoffes besteht darin, den Stoff als Schweißzusatzwerkstoff zwischen die

beiden Fügepartner einzubringen. Der Schweißzusatzwerkstoff besteht dabei aus einem Grundmaterial, welches den Stoff enthält. Das Grundmaterial des Schweißzusatzwerkstoffes ist vorteilhafterweise ein mit den Schweißpartnern gut mischbarer Kunststoff. Für die oben genannte gute Mischung ist es ganz besonders vorteilhaft, wenn das Grundmaterial der gleiche Kunststoff ist wie einer der beiden Schweißpartner.

Die oben genannten Aufgaben werden damit durch einen Schweißzusatzwerkstoff aus Kunststoff gelöst, der sich dadurch auszeichnet, dass er mindestens einen Stoff A enthält der durch Zuführung von Energie reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umwandelbar ist, und wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit Strahlung im Wellenlängenbereich von $\lambda = 800\text{--}2000\text{ nm}$ stärker absorbieren als der Stoff A.

Der Schweißzusatzwerkstoff kann eine Schicht, eine Folie, oder auch ein Draht sein.

Eine den Stoff enthaltende Schicht kann nach den gängigen nach dem Stand der Technik bekannten Verfahren auf einem der beiden Schweißpartner abgeschieden werden. Beispielsweise kann die Schicht mittels Tampondruck oder mit einem Pinsel aufgebracht werden.

Folien als Schweißzusatzwerkstoff sind besonders leicht handhabbar und weisen den weiteren Vorteil auf, dass bei vorwiegend planaren Oberflächen der Fügepartner leicht große Flächenraten erzielt werden können. Der Einsatz eines drahtförmigen Zusatzwerkstoffes bietet sich besonders unebenen Fügeoberflächen an, um durch die Schmelzebildung diese Unebenheiten auszugleichen.

Um die oben genannten Anforderungen an das Schweißergebnis bei nicht opaken Kunststoffen zu gewährleisten sollte das Grundmaterial des Zusatzwerkstoffes weitgehend farblos transparent sein. Speziell bei zu verschweißenden opaken Kunststoffen ist auch ein farbiges Grundmaterial denkbar, wenn sich daraus keine optischen Veränderungen im Fugebereich ergeben.

Der eingebrachte Stoff A genannt, muss reversibel in einen anderen Stoff B mit für die Hochenergiestrahlung größerem Absorptionskoeffizienten umwandelbar sein. Die reversible Umwandlung geschieht dadurch, dass dem Fugebereich geeignete Hilfsenergie zugeführt wird. Diese zusätzliche Energie (Hilfsenergie) wird vom Stoff A aufgenommen und kann zu einer chemischen Reaktion oder zu einer energetischen Anregung führen. Im Falle einer chemischen Umwandlung kommt es zur Bildung eines anderen Stoffes B mit für die Hochenergie- bzw. Schweißstrahlung größerem Absorptionskoeffizienten. Nach Abschluss des Schweißvorganges gibt der energetisch angeregte Stoff seine Energie wieder ab, bzw. wandelt sich der andere Stoff B in den ursprünglichen Stoff A um.

Die reversible Umwandlung kann eine reversible chemische Umwandlung sein, wie sie beispielsweise bei photochromen Materialien auftritt. Photochromen Materialien sind besonders vorteilhaft, da bei einigen Vertretern dieser Verbindungen eine besonders starke Erhöhung des Absorptionsvermögens dokumentiert ist, weshalb sie zum Beispiel bei Sonnengläsern oder bei wiederbeschreibbaren CD-Aufnahmegeräten (engl. CD-Recorder) eingesetzt werden. In diesem Sinne geeignete Stoffe bzw. Verbindungsklassen sind Spirooxazine, Spiropyranole, Azaindoline, Spirooxazine, Fulgide, Benzopyrane, Naphthopyrane, Dehydropyrene, Thioindigo, Bipyridine, Aziridine, Azobenzole, Xanthene, Azofarbstoffe oder Silberhalogenide.

Im Sinne der Erfindung sind auch elektrochrome Stoffe als absorptionserhöhende Stoffe geeignet. Elektrochrome Materialien können durch ein äußeres elektrisches Feld ihre Farbe ändern. Die im Sinne der Erfindung zugeführte Hilfs-

energie ist hier die Energie des elektrischen Feldes. Mit der Farbänderung kommt es auch zur gewünschten Erhöhung des Absorptionsvermögens hinsichtlich der Schweißstrahlung.

Der ausgewählte Stoff A ist entweder völlig farblos, nur schwach farbig, oder farbig. Der erste Fall ist bei farblosen transparenten Kunststoffen erforderlich. Bei schwach gefärbten bzw. weitgehend farblosen Kunststoffen kann ein schwach farbiger Zusatzstoff A genügen, ist aber ein völlig farbloser Stoff A vorteilhafter. Dies gilt insbesondere bei verschweißenden opaken Kunststoffen. Sind opake Kunststoffe zu verschweißen, so können auch farbige Stoffe A eingesetzt werden.

Der Stoff A sollte so gewählt sein, dass der Stoff B die Schweißstrahlung besonders stark absorbiert, d. h. beim Kunststoffschweißen die üblicherweise verwendeten Wellenlängen von ca. 800–2000 nm.

Für die Umwandlung von Stoff A zu Stoff B wird Hilfsenergie zugeführt. Dies kann thermische Energie oder Energie einer zweiten Strahlungsquelle sein. Wenn die Umwandlung durch Beaufschlagung mit Strahlung einer zweiten Strahlungsquelle erfolgt, so eignet sich besonders Ultraviolett (UV-) Strahlung ($\lambda = 100\text{--}400\text{ nm}$), sichtbares Licht (VIS, $\lambda = 400\text{--}800\text{ nm}$), oder Strahlung im nahen Infrarot (NIR, $\lambda = 800\text{ bis }2000\text{ nm}$). Die unter anderem nutzbaren Strahlungsquellen sind Diodenlaser, Nd-YAG Laser, oder im NIR-Wellenlängenbereich absorbierende Laser. In den meisten Anwendungsfällen reicht es aus, diese Strahlung im Dauerstrichbetrieb (CW-Betrieb) einzusetzen. Nur zur Schaffung spezieller energetisch angeregter Zustände sollte gepulste Strahlung vonnöten sein.

Die Rückreaktion des Stoffes B zum Stoff A erfolgt entweder selbsttätig unter Strahlungsabgabe, oder wird durch Zuführung von Energie herbeigeführt. Die zugeführte Energie kann dabei thermische Energie sein, oder Strahlungsenergie einer zweiten Strahlungsquelle. Der Stoff B gibt entweder thermische Energie oder Strahlungsenergie im UV-, VIS- oder NIR-Bereich ab.

Wenn die Rückreaktion des Stoffes B hinreichend zeitverzögert einsetzt ist es möglich, die Energiezufuhr vor dem eigentlichen Schweißprozess auszuschalten. Wenn die Rückreaktion schnell erfolgt, kann die Energiezufuhr auch zeitlich parallel zum Schweißprozess erfolgen. Im letztgenannten Fall kann sich die Rückreaktion in einer Änderung der Strahlungsintensität (Gleichgewichtsreaktion) äußern.

Bester Weg zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt zwei zu verschweißende Kunststoffe (3) und (4), zwischen denen sich ein Draht (5) mit einem bei sichtbarem Licht transparenten Stoff A befindet, der reversibel in einen anderen Stoff B mit für die Schweißstrahlung (1) größerem Absorptionskoeffizienten umwandelbar ist. Der Kunststoff (3) wird zunächst unter Zuhilfenahme einer entsprechenden fokussierenden Optik (2) von Strahlung (1) beaufschlagt, welche durch den Kunststoff (3) nicht absorbiert wird. Die Strahlung trifft im Fügebereich auf den Draht (5). Der Draht enthält den sich reversibel umwandelnden Stoff A. Der Stoff A wandelt sich durch Absorption von Strahlung in einen anderen Stoff B um, der die Hochenergiestrahlung für den Schweißprozess stärker absorbiert als der Ausgangsstoff.

Für den Schweißvorgang wird ein NIR-Laser (z. B. Dioden-, Nd:YAG-Laser) eingesetzt, eingesetzt, dessen Strahlung nunmehr im Fügebereich stark absorbiert wird. Da der Draht (5) so platziert ist, dass er in thermischen Kontakt zu (3) und (4) steht, wird er aufgeschmolzen, und über Wärmeleitung gelangt die Wärme in die Kunststoffe (3) bzw. (4).

Dadurch kommt es zu einer stoffschlüssigen Verbindung zwischen (3) und (4). Ohne weiteres Zutun wandelt sich der Stoffes B wieder in den Stoff A um.

Bei Fig. 2 befindet sich der Stoff A nicht in einem Schweißzusatzwerkstoff (5), sondern ist im Kunststoff (7) enthalten. Nach Ausschalten der Strahlung wird der Kunststoff (7) durch die absorbierte Strahlung erwärmt und aufgeschmolzen. Durch den Wärmekontakt zwischen den Kunststoffen (6) und (7) wird die Wärme zum Kunststoff (6) übertragen. Es entsteht eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den Kunststoffen (6) und (7).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verschweißen mindestens zweier Kunststoffe, bei dem die für das Schweißen erforderliche Prozessenergie Laserlichtenergie ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Fügebereich Hilfsenergie zugeführt wird, dass durch die Hilfsenergie im Fügebereich vorhandene Partikel mindestens eines Stoffes A_j reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umgewandelt werden, wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit die Laserstrahlung stärker absorbieren als der Stoff A.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein photochromer oder elektrochromer Stoff A_j umgewandelt wird.
3. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein farbloser Stoff A_j umgewandelt wird.
4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Hilfsenergie Strahlungsenergie, thermische Energie, oder elektrische Feldenergie zugeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Hilfsenergie Strahlungsenergie im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda = 800\text{--}2000\text{ nm}$ zugeführt wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfsenergie zeitlich vor dem Schweißvorgang zugeführt wird.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfsenergie zeitlich parallel zum Schweißvorgang zugeführt wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein nichtopaker Kunststoff verschweißt wird.
9. Kunststoff, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens einen Stoff A_j enthält der durch Zuführung von Energie reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umwandelbar ist, und dass der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit die Strahlung im Wellenlängenbereich von $800\text{--}2000\text{ nm}$ stärker absorbieren als der Stoff A_j.
10. Kunststoff nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff A_j photochrom oder elektrochrom ist.
11. Kunststoff nach mindestens einem der Ansprüche 9 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff A_j farblos ist.
12. Kunststoff nach mindestens einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Kunststoff transparent ist.
13. Kunststoff nach mindestens einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Kunststoff farblos transparent ist.
14. Schweißzusatzwerkstoff mit einem Grundmaterial aus Kunststoff, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens einen Stoff A_j enthält der durch Zuführung von

Energie reversibel in einen oder mehrere Stoffe B_i umwandelbar ist, und wobei der oder die Stoffe B_i in ihrer Gesamtheit Strahlung im Wellenlängenbereich von 800–2000 nm stärker absorbieren als der Stoff A_j.

15. Schweißzusatzwerkstoff nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff A_j photochrom oder elektrochrom ist. 5

16. Schweißzusatzwerkstoff nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoff A_j farblos ist. 10

17. Schweißzusatzwerkstoff nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass sein Grundmaterial transparent ist.

18. Schweißzusatzwerkstoff nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass sein Grundmaterial farblos transparent ist. 15

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

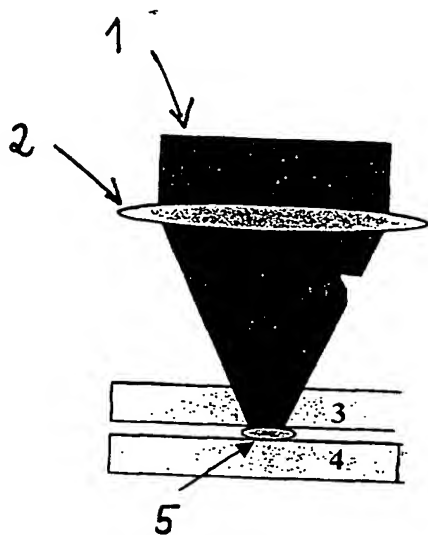


Fig. 1

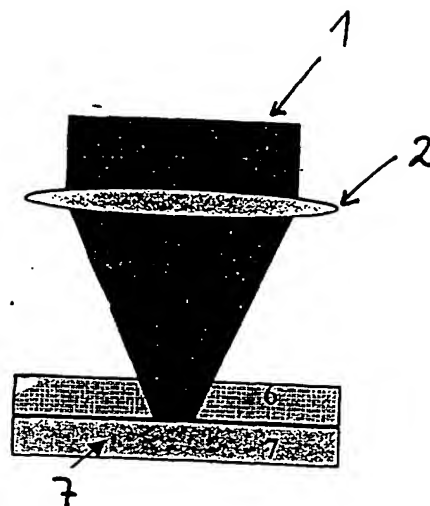


Fig. 2

BEST AVAILABLE COPY